

Задача 1.

Для линии без потерь, параметры которой заданы, определить:

1. Комплексные напряжения и ток в начале линии, а также коэффициент полезного действия.

2. Приняв заданную линию за линию без потерь ($R_0=0$ и $G_0=0$), построить график распределения действующего значения напряжения вдоль линии при заданной нагрузке и при холостом ходе линии или коротком замыкании на выходных зажимах, если напряжение на входе линии равно определенному в п.1.

$$f = 600 \text{ Гц}; l = 200 \text{ км}; l = 0.5 \cdot 200 = 100 \text{ км}$$

$$R_0 = 5.5 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}; C_0 = 10 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ф}}{\text{км}}; L_0 = 3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Гн}}{\text{км}}; G_0 = 0.65 \cdot 10^{-6} \frac{\text{См}}{\text{км}};$$

$$U_2 = 60 \text{ В}; I_2 = 52.1 \cdot e^{j12^\circ 25'} \text{ мА}$$

Режим для п.2 - короткое замыкание.

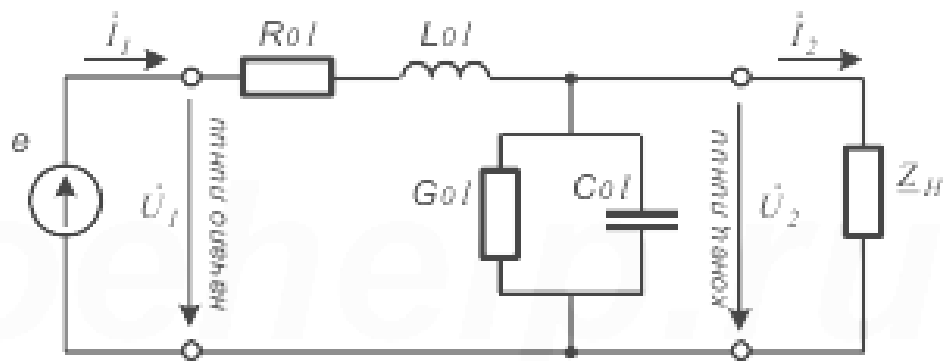


Рисунок 1. Схема длинной линии.

Заданный расчет производим в программе MathCad.

1. Расчет заданной линии:

Исходные данные: Первичные параметры длинной линии

$$R_0 := 5.5 \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \quad L_0 := 3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Гн}}{\text{км}} \quad G_0 := 0.65 \cdot 10^{-6} \frac{\text{См}}{\text{км}} \quad C_0 := 10 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ф}}{\text{км}}$$

$$I_2 := 52.1 \cdot 10^{-3} \cdot e^{j \cdot 12.42 \cdot \text{deg}} \text{ А} \quad U_2 := 60 \text{ В} \quad l := 100 \text{ км} \quad f := 600 \text{ Гц}$$

$$\omega := 2 \cdot \pi \cdot f = 3.77 \times 10^3$$

1. Определяем вторичные параметры линии

$$Z_0 := R_0 + j \cdot \omega \cdot L_0 = 5.5 + 11.31i \quad Y_0 := G_0 + j \cdot \omega \cdot C_0 = 6.5 \times 10^{-7} + 3.77i \times 10^{-5}$$

$$\text{Постоянная распространения} \quad \gamma := \sqrt{Z_0 \cdot Y_0} = 5.069 \times 10^{-3} + 0.021i$$

$$\text{Коэффициент затухания} \quad \alpha := \text{Re}(\gamma) = 5.069 \times 10^{-3} \frac{\text{нп}}{\text{км}}$$

$$\text{Коэффициент фазы} \quad \beta := \text{Im}(\gamma) = 0.021 \frac{\text{рад}}{\text{км}}$$

Волновое сопротивление

$$Z_C := \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}} = 563.901 - 124.736i \quad |Z_C| = 577.532 \quad \arg(Z_C) = -12.473 \cdot \text{deg}$$

Напряжение и ток в начале линии

$$U_1 := \frac{U_2 + I_2 \cdot Z_C}{2} \cdot e^{\gamma \cdot l} + \frac{U_2 - I_2 \cdot Z_C}{2} \cdot e^{-\gamma \cdot l} = -43.551 + 56.184i$$

$$|U_1| = 71.087 \quad \arg(U_1) = 127.781 \cdot \text{deg}$$

$$I_1 := \frac{U_2 + I_2 \cdot Z_C}{2 \cdot Z_C} \cdot e^{\gamma \cdot l} - \frac{U_2 - I_2 \cdot Z_C}{2 \cdot Z_C} \cdot e^{-\gamma \cdot l} = -0.085 + 0.108i$$

$$|I_1| = 0.137 \quad \arg(I_1) = 128.007 \cdot \text{deg}$$

$$\text{Мощность в начале линии:} \quad S_1 := U_1 \cdot \bar{I}_1 = 9.764 - 0.039i \quad |S_1| = 9.764 \quad \arg(S_1) = -0.226 \cdot \text{deg}$$

$$\text{Мощность в конце линии:} \quad S_2 := U_2 \cdot \bar{I}_2 = 3.053 - 0.672i \quad |S_2| = 3.126 \quad \arg(S_2) = -12.42 \cdot \text{deg}$$

$$P_1 := \text{Re}(S_1) = 9.764 \text{ Вт} \quad P_2 := \text{Re}(S_2) = 3.053 \text{ Вт} \quad \text{КПД линии} \quad \eta := \frac{P_2}{P_1} = 0.313$$

В результате расчета получены значения напряжения и тока в начале линии:

$$\dot{U}_1 = 71.09 \cdot e^{j127.78^\circ} \text{ В}; \quad I_1 = 137 \cdot e^{j128.01^\circ} \text{ мА}$$

$$\text{КПД линии} \quad \eta = 0.313$$

Строим график распределения действующего значения напряжения.

$$U_1(y) := \left| \frac{U_2 + I_2 \cdot Z_C}{2} \cdot e^{\gamma \cdot y} + \frac{U_2 - I_2 \cdot Z_C}{2} \cdot e^{-\gamma \cdot y} \right|$$

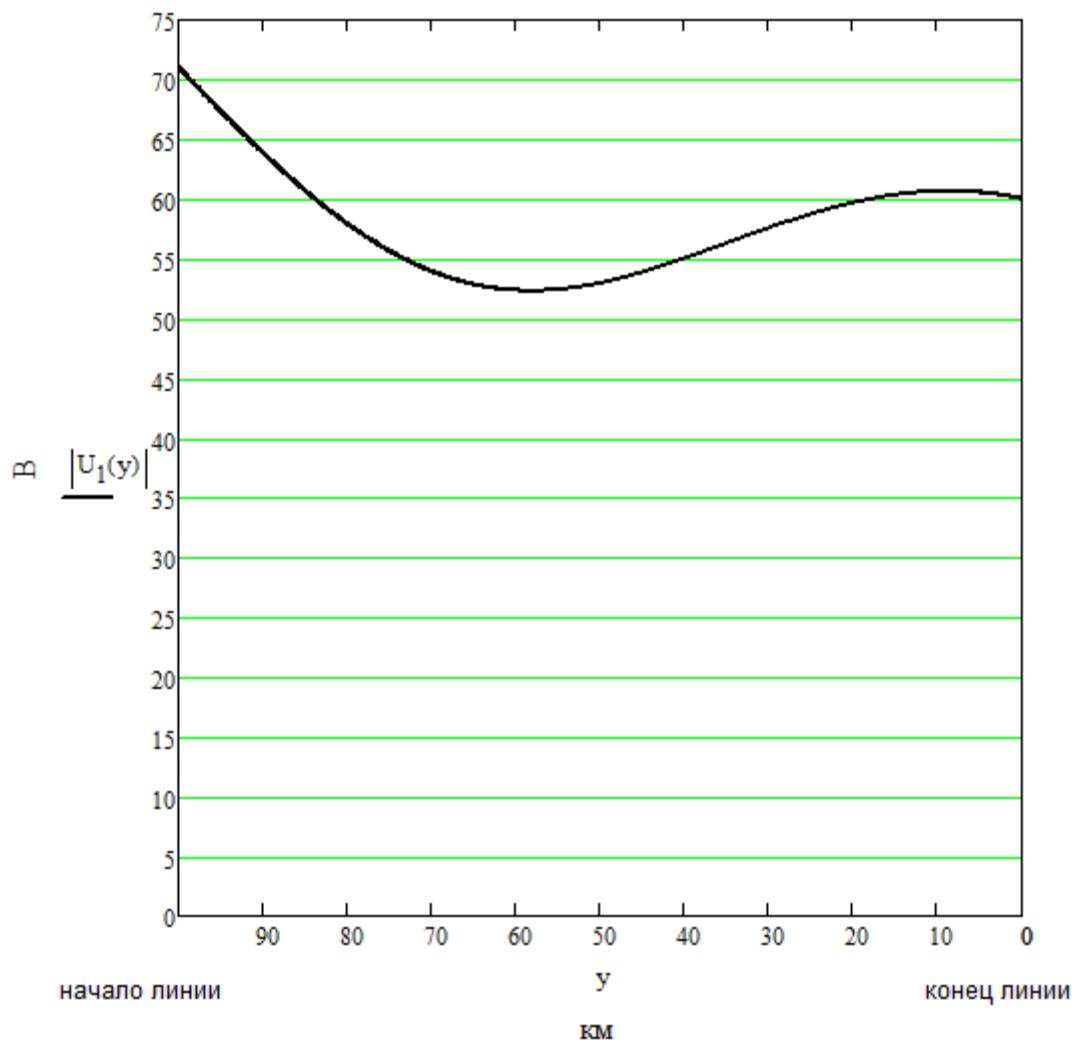


Рисунок 2. График распределения действующего значения напряжения вдоль линии.

2. Расчет для линии без потерь при коротком замыкании.

2. Расчет линии без потерь

Исходные данные: Первичные параметры длинной линии

$$L_0 := 3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Гн}}{\text{км}} \quad C_0 := 10 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ф}}{\text{км}}$$

$$U_1 := 71.09 \cdot e^{j \cdot 127.78 \cdot \text{deg}} \text{ А} \quad U_2 := 0 \text{ В} \quad l := 100 \text{ км} \quad f := 600 \text{ Гц}$$

$$\text{Волновое сопротивление} \quad Z_C := \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = 547.723 \quad \text{Ом}$$

$$\text{Коэффициент фазы} \quad \beta := 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sqrt{L_0 \cdot C_0} = 0.021$$

$$\text{Длина электромагнитной волны} \quad \lambda := \frac{2 \cdot \pi}{\beta} = 304.29 \quad \text{км}$$

$$\text{Ток в конце линии} \quad I_2 := \frac{U_1}{j \cdot (Z_C \cdot \sin(\beta \cdot l))} = 0.117 + 0.09i \quad \text{А}$$

$$|I_2| = 0.147 \quad \arg(I_2) = 37.78 \text{ deg}$$

Напряжение и ток в начале линии

$$U_1 := U_2 \cdot \cos(\beta \cdot l) + j \cdot I_2 \cdot Z_C \cdot \sin(\beta \cdot l) = -43.552 + 56.187i \quad |U_1| = 71.09 \quad \arg(U_1) = 127.78 \cdot \text{deg}$$

$$I_1 := I_2 \cdot \cos(\beta \cdot l) + j \cdot \frac{U_2}{Z_C} \cdot \sin(\beta \cdot l) = -0.055 - 0.043i \quad |I_1| = 0.07 \quad \arg(I_1) = -142.22 \cdot \text{deg}$$

В результате расчета получены значения напряжения и тока в начале линии:

$$\dot{U}_1 = 71.09 \cdot e^{j 127.78^\circ} \text{ В}; \quad I_1 = 70 \cdot e^{-j 142.22^\circ} \text{ мА}$$

$$\text{Ток в конце линии: } \dot{I}_2 = 147 \cdot e^{j 37.78^\circ} \text{ мА}$$

Строим график распределения действующего значения напряжения.

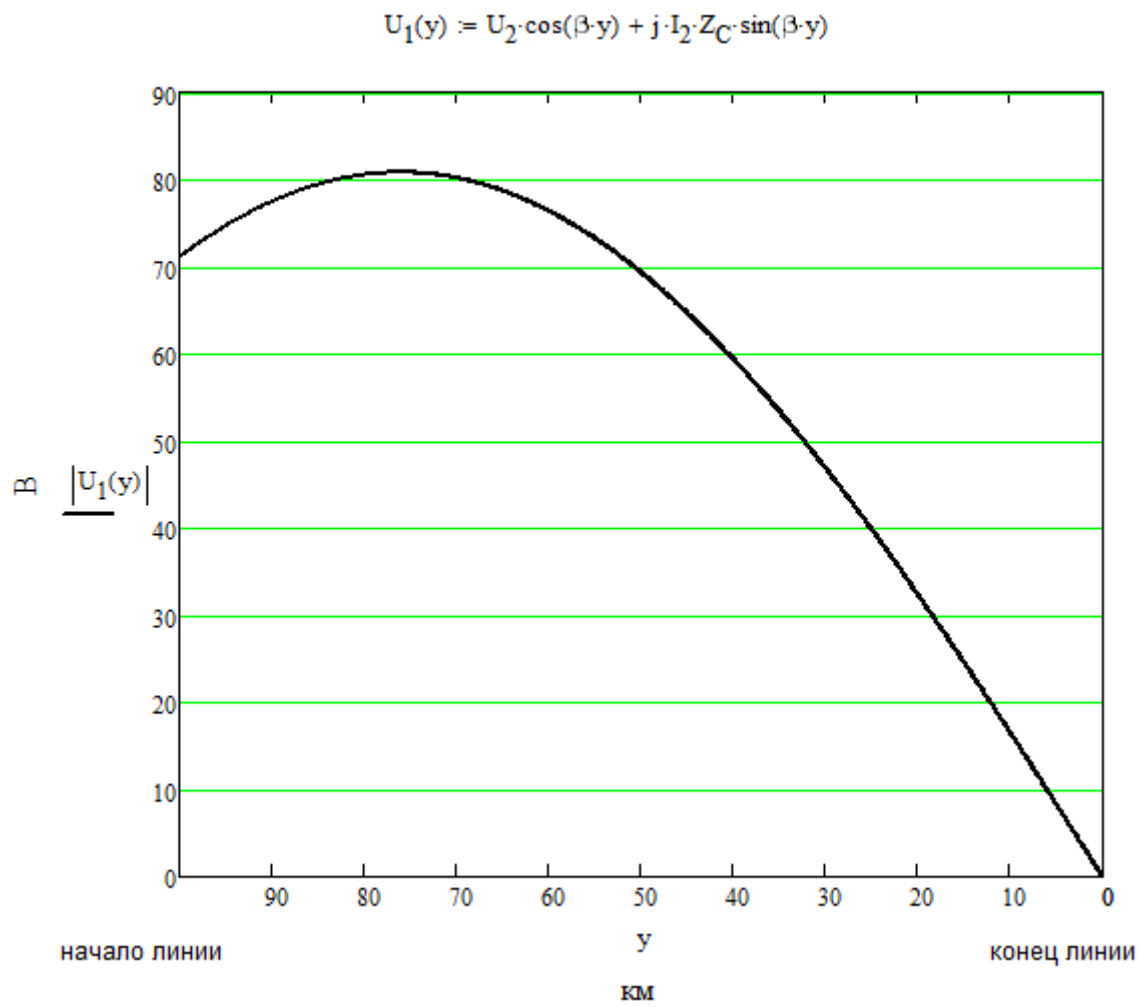


Рисунок 3. График распределения действующего значения напряжения вдоль линии без потерь.

Задача 2.

Методом последовательных приближений (методом итераций) рассчитать заданную электрическую цепь. В электрической цепи один из резисторов обладает нелинейным сопротивлением.

Определить:

1. Ток и напряжение на нелинейном элементе R_H при заданных параметрах цепи.
2. Токи в ветвях.

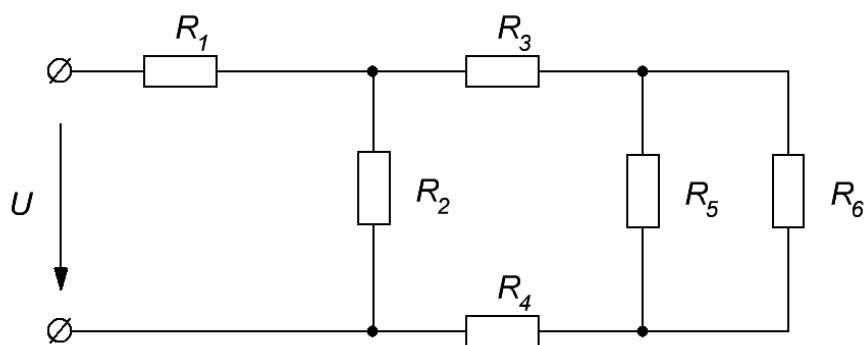


Рисунок 1. Общий вид заданной схемы.

Заданные параметры цепи:

$$U = 180 \text{ В}; R_1 = 61 \text{ Ом}; R_2 = R_H; R_3 = 35 \text{ Ом};$$

$$R_4 = 63 \text{ Ом}; R_5 = 80 \text{ Ом}; R_6 = \infty \text{ Ом}$$

Вольт-амперная характеристика нелинейного элемента.

$U_H, \text{ В}$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
$I_H, \text{ А}$	0	0.1	0.15	0.3	0.55	0.75	1.0	1.7	2.6	3.2

1. Составляем схему электрической цепи в соответствии с заданием по варианту. На схеме обозначаем токи в ветвях и задаем их направления.

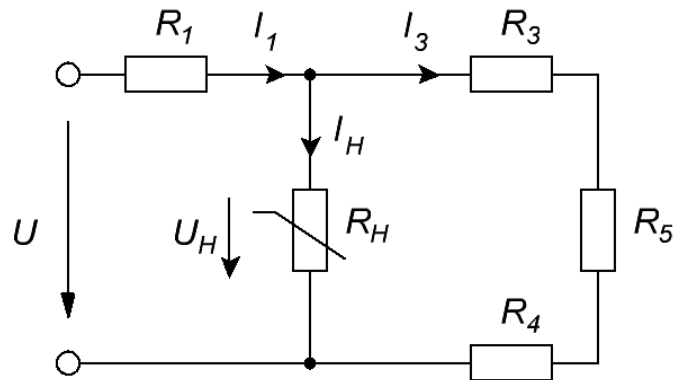


Рисунок 2. Расчетная схема цепи.

2. Для расчета параметров нелинейного сопротивления преобразовываем заданную схему к эквивалентному генератору относительно нелинейного сопротивления.

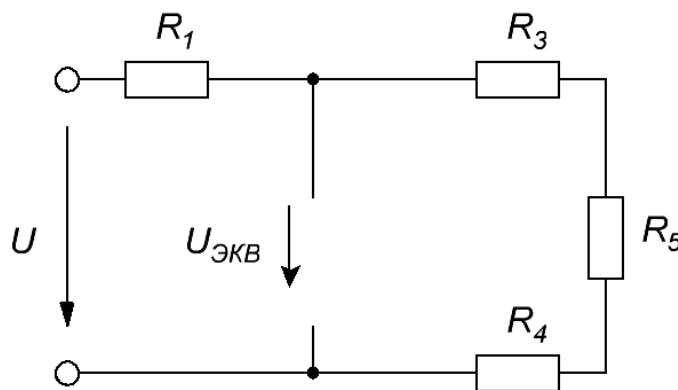


Рисунок 3. Схема для расчета параметров эквивалентного генератора.

Рассчитываем параметры эквивалентного генератора.

$$R_0 = R_3 + R_4 + R_5 = 35 + 63 + 80 = 178 \text{ Ом}$$

$$U_{\text{ЭКВ}} = \frac{U}{R_1 + R_0} \cdot R_0 = \frac{180}{61 + 178} \cdot 178 = 134.06 \text{ В}$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{R_1 \cdot R_0}{R_1 + R_0} = \frac{61 \cdot 178}{61 + 178} = 45.43 \text{ Ом}$$

3. По заданным параметрам строим вольт-амперную характеристику нелинейного элемента.

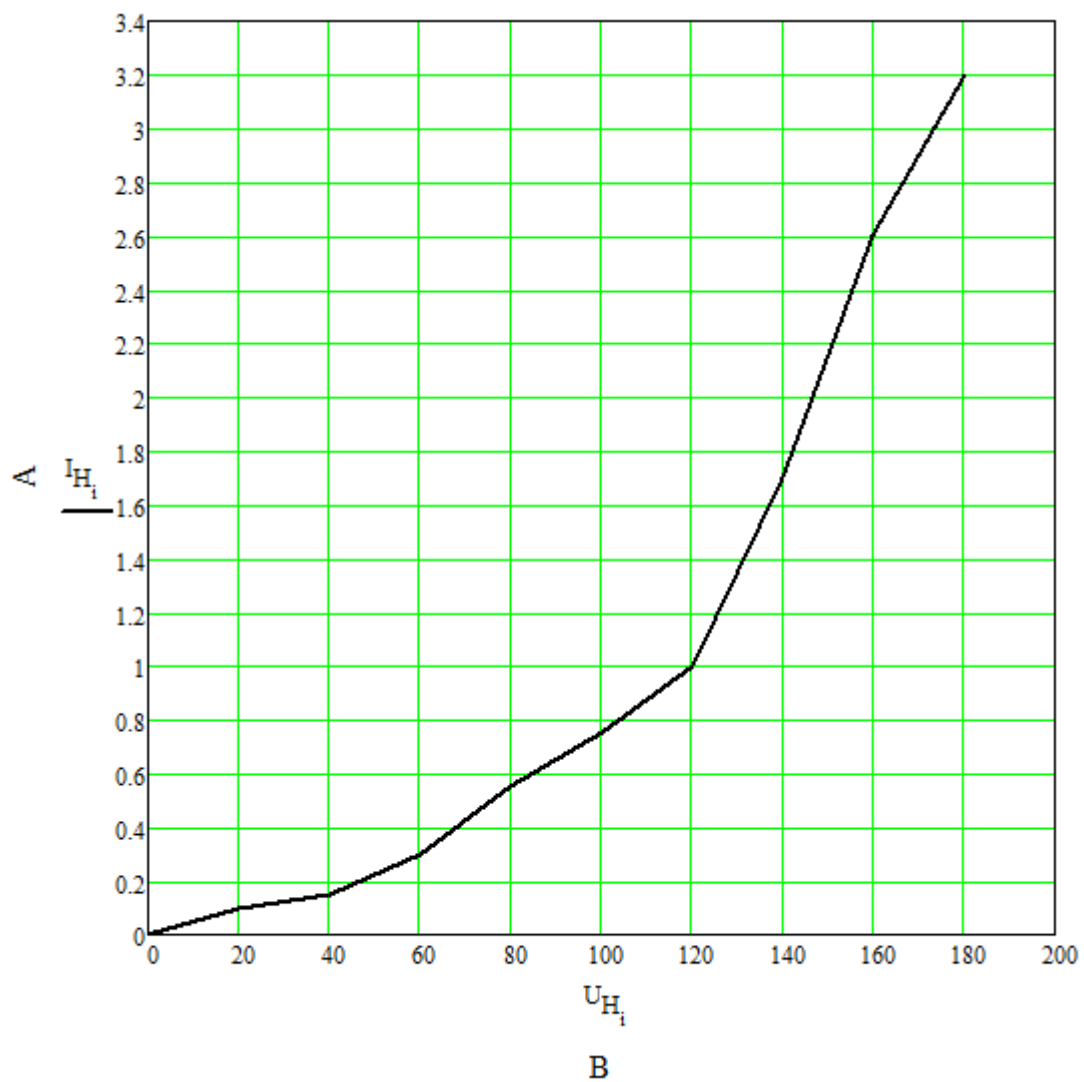


Рисунок 4. Вольт-амперная характеристика нелинейного сопротивления.

4. Для схемы эквивалентного генератора получим выражение, определяющее зависимость напряжения на нелинейном элементе от тока нелинейного элемента.

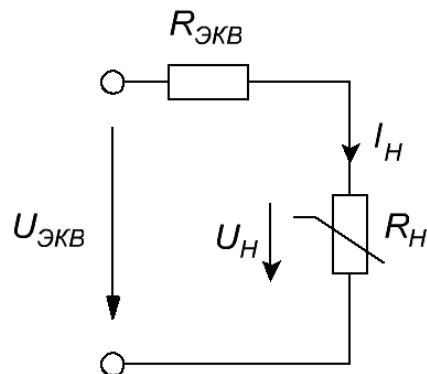


Рисунок 5. Схема эквивалентного генератора нелинейного сопротивления.

$$I_H = \frac{U_{\text{ЭКВ}} - U_H}{R_{\text{ЭКВ}}}; U_H = U_{\text{ЭКВ}} - I_H \cdot R_{\text{ЭКВ}}$$

5. Производим расчет цепи методом итераций.

Для нулевого приближения задаем ток нелинейного элемента: $I_{H(0)} = 1 \text{ A}$

Напряжение нелинейного элемента: $U_{H(1)} = 134.06 - 1 \cdot 45.43 = 88.63 \text{ B}$

По полученному значению, используя заданную вольт-амперную характеристику находим ток нелинейного элемента в первом приближении.

По характеристике значению $U_{H(1)} = 88.63 \text{ B}$ соответствуют интервалы значений: $U_a = 80 \text{ B}$; $U_b = 100 \text{ B}$; $I_a = 0.55 \text{ A}$; $I_b = 0.75 \text{ A}$

Ток нелинейного элемента:

$$I_{H(1)} = I_a + \frac{U_{H(1)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.55 + \frac{88.63 - 80}{100 - 80} \cdot (0.75 - 0.55) = 0.636 \text{ A}$$

Аналогичным образом, производим последующие итерации.

1-е приближение:

$$U_{H(2)} = 134.06 - 0.636 \cdot 45.43 = 105.15 \text{ B}$$

$$U_a = 100 \text{ B}; U_b = 120 \text{ B}; I_a = 0.75 \text{ A}; I_b = 1.0 \text{ A}$$

$$I_{H(2)} = I_a + \frac{U_{H(1)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.75 + \frac{105.15 - 100}{120 - 100} \cdot (1.0 - 0.75) = 0.814 \text{ A}$$

2-е приближение:

$$U_{H(3)} = 134.06 - 0.814 \cdot 45.43 = 97.06 \text{ B}$$

$$U_a = 80 \text{ B}; U_b = 100 \text{ B}; I_a = 0.55 \text{ A}; I_b = 0.75 \text{ A}$$

$$I_{H(3)} = I_a + \frac{U_{H(3)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.55 + \frac{97.06 - 80}{100 - 80} \cdot (0.75 - 0.55) = 0.721 \text{ A}$$

3-е приближение:

$$U_{H(4)} = 134.06 - 0.721 \cdot 45.43 = 101.32 \text{ B}$$

$$U_a = 100 \text{ B}; U_b = 120 \text{ B}; I_a = 0.75 \text{ A}; I_b = 1.0 \text{ A}$$

$$I_{H(4)} = I_a + \frac{U_{H(4)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.75 + \frac{101.32 - 100}{120 - 100} \cdot (1.0 - 0.75) = 0.767 \text{ A}$$

4-е приближение:

$$U_{H(5)} = 134.06 - 0.767 \cdot 45.43 = 99.24 \text{ B}$$

$$U_a = 80 \text{ B}; U_b = 100 \text{ B}; I_a = 0.55 \text{ A}; I_b = 0.75 \text{ A}$$

$$I_{H(5)} = I_a + \frac{U_{H(5)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.55 + \frac{99.24 - 80}{100 - 80} \cdot (0.75 - 0.55) = 0.742 \text{ A}$$

5-е приближение:

$$U_{H(6)} = 134.06 - 0.742 \cdot 45.43 = 100.33 \text{ B}$$

$$U_a = 100 \text{ B}; U_b = 120 \text{ B}; I_a = 0.75 \text{ A}; I_b = 1.0 \text{ A}$$

$$I_{H(6)} = I_a + \frac{U_{H(6)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.75 + \frac{100.33 - 100}{120 - 100} \cdot (1.0 - 0.75) = 0.754 \text{ A}$$

6-е приближение:

$$U_{H(7)} = 134.06 - 0.754 \cdot 45.43 = 99.8 \text{ В}$$

$$U_a = 80 \text{ В}; U_b = 100 \text{ В}; I_a = 0.55 \text{ А}; I_b = 0.75 \text{ А}$$

$$I_{H(7)} = I_a + \frac{U_{H(7)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.55 + \frac{99.8 - 80}{100 - 80} \cdot (0.75 - 0.55) = 0.748 \text{ А}$$

7-е приближение:

$$U_{H(8)} = 134.06 - 0.748 \cdot 45.43 = 100.08 \text{ В}$$

$$U_a = 100 \text{ В}; U_b = 120 \text{ В}; I_a = 0.75 \text{ А}; I_b = 1.0 \text{ А}$$

$$I_{H(8)} = I_a + \frac{U_{H(8)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.75 + \frac{100.08 - 100}{120 - 100} \cdot (1.0 - 0.75) = 0.751 \text{ А}$$

8-е приближение:

$$U_{H(9)} = 134.06 - 0.751 \cdot 45.43 = 99.97 \text{ В}$$

$$U_a = 80 \text{ В}; U_b = 100 \text{ В}; I_a = 0.55 \text{ А}; I_b = 0.75 \text{ А}$$

$$I_{H(9)} = I_a + \frac{U_{H(9)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.55 + \frac{99.97 - 80}{100 - 80} \cdot (0.75 - 0.55) = 0.75 \text{ А}$$

9-е приближение:

$$U_{H(10)} = 134.06 - 0.75 \cdot 45.43 = 99.99 \text{ В}$$

$$U_a = 80 \text{ В}; U_b = 100 \text{ В}; I_a = 0.55 \text{ А}; I_b = 0.75 \text{ А}$$

$$I_{H(10)} = I_a + \frac{U_{H(10)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.55 + \frac{99.99 - 80}{100 - 80} \cdot (0.75 - 0.55) = 0.75 \text{ А}$$

Так как при последней итерации получено:

$I_{H(9)} = I_{H(10)} = 0.75 \text{ А}; U_{H(9)} \approx U_{H(10)} \approx 100 \text{ В}$, то эти значения и будут рабочими параметрами нелинейного элемента в заданной цепи.

Таким образом, определено: $I_H = 0.75 \text{ А}; U_H = 100 \text{ В}$

6. По законам Кирхгофа определяем остальные токи исходной схемы:

$$I_1 = \frac{U - U_H}{R_1} = \frac{180 - 100}{61} = 1.311 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{U_H}{R_0} = \frac{100}{178} = 0.561 \text{ A}, I_3 = I_4 = I_1 - I_H = 1.311 - 0.75 = 0.561 \text{ A}$$

Задача 3.

Рассчитать магнитную цепь постоянного тока методом двух узлов. Определить величины, указанные в соответствии с номером варианта.

Дано:

$$l_1 = 33.5 \text{ см}; s_1 = 7.6 \text{ см}^2; w_1 = 500; I_1 = 0.21 \cdot 0.85 = 0.1785 \text{ А};$$

$$l_2 = 12 \text{ см}; s_2 = 12 \text{ см}^2; w_2 = 600; I_2 = 0.05 \cdot 0.85 = 0.0425 \text{ А};$$

$$l_3 = 45 \text{ см}; s_3 = 11.3 \text{ см}^2; w_3 = 975; I_3 - \text{А};$$

$$\delta_1 - ; \delta_2 - ; \delta_3 - \text{ мм}; \text{ рисунок 2в}$$

Дополнительное условие: $\Phi_3 - \Phi_1 = 20 \cdot 10^{-5} \text{ Вб}$; Определить I_3, Φ_1

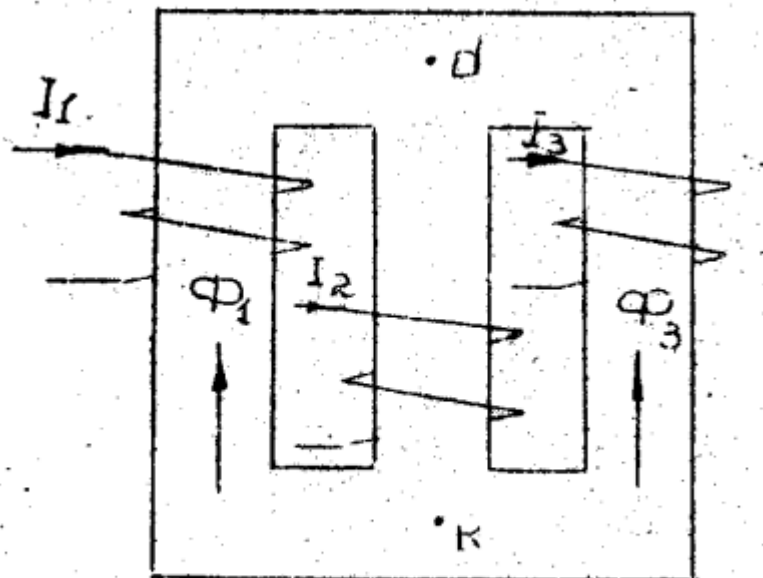


Рис. 2в

Рисунок 1. Заданная схема магнитной цепи.

Заданная кривая намагничивания:

H, А/м	20	40	60	80	120	200	400	600	800	1200
B, Тл	0,22	0,75	0,93	1,02	1,14	1,28	1,47	1,53	1,37	1,6

Решение:

1. Изображаем эквивалентную схему магнитной цепи. Так как в условии задано отрицательное значение тока первой катушки, то на расчетной схеме показываем МДС катушки в обратном направлении, по сравнению с исходной схемой и в дальнейших расчетах ток этой катушки считаем положительным.

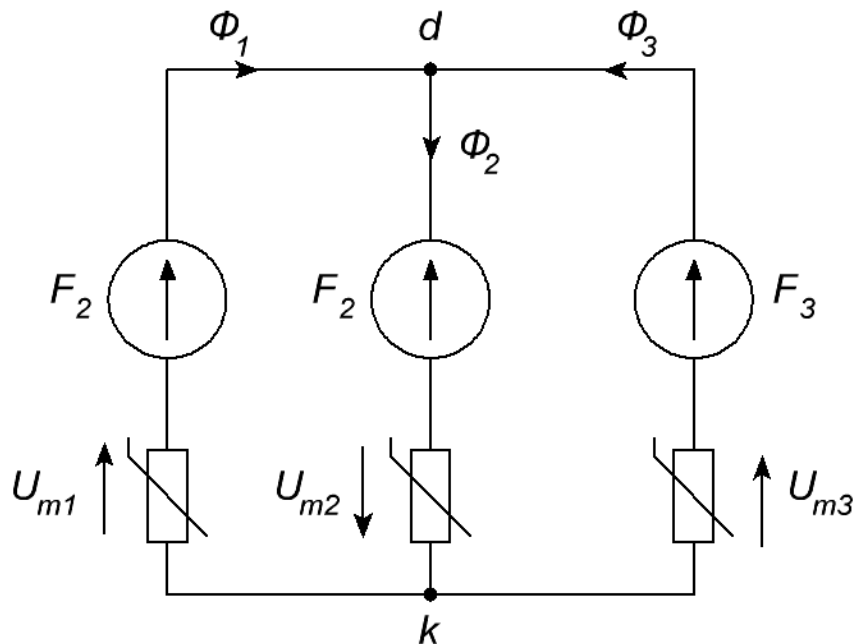


Рисунок 2. Расчетная схема магнитной цепи.

2. По полученной эквивалентной схеме составляем систему уравнений по законам Кирхгофа для магнитной цепи:

$$\begin{cases} \Phi_2 = \Phi_1 + \Phi_3; B_2 \cdot s_2 = B_1 \cdot s_1 + B_3 \cdot s_3 \\ U_{mdk} = F_1 - U_{m1} = I_1 \cdot w_1 - H_1 \cdot l_1 \\ U_{mdk} = F_2 + U_{m2} = I_2 \cdot w_2 + H_2 \cdot l_2 \\ U_{mdk} = F_3 - U_{m3} = I_3 \cdot w_3 - H_3 \cdot l_3 \end{cases}$$

Значения магнитодвижущих сил:

$$F_1 = I_1 \cdot w_1 = 0.1785 \cdot 500 = 89.25 \text{ A}; \quad F_2 = I_2 \cdot w_2 = 0.0425 \cdot 600 = 25.5 \text{ A}$$

3. Для определения магнитных потоков составляем расчетную таблицу и по ней строим характеристики:

1) $\Phi_1(U_{\text{mdk}})$; 2) $\Phi_2(U_{\text{mdk}})$ 3) $\Phi_3(U_{m3})$, 4) $\Phi_{11}(U_{\text{mdk}})$

$H, \frac{A}{M}$	$B, Tл$	$\Phi_1,$ $Bб \cdot 10^{-5}$	$\Phi_{11},$ $Bб \cdot 10^{-5}$	U_{mdk}, A	$\Phi_2,$ $Bб \cdot 10^{-5}$	U_{mdk}, A	$\Phi_3,$ $Bб \cdot 10^{-5}$	U_{m3}, A
		$B \cdot s_1$	$2 \cdot \Phi_1 + 20$	$F_1 - H \cdot l_1$	$B \cdot s_2$	$F_2 + H \cdot l_2$	$B \cdot s_3$	$H \cdot l_3$
0	0	0	20	89,25	0	25,5	0	0
20	0,22	16,72	53,44	82,55	26,4	27,9	24,86	9
40	0,75	57	134	75,85	90	30,3	84,75	18
60	0,93	70,68	161,36	69,15	111,6	32,7	105,09	27
80	1,02	77,52	175,04	62,45	122,4	35,1	115,26	36
120	1,14	86,64	193,28	49,05	136,8	39,9	128,82	54
200	1,28	97,28	214,56	22,25	153,6	49,5	144,64	90
400	1,47	111,72	243,44	-44,75	176,4	73,5	166,11	180
600	1,53	116,28	252,56	-111,75	183,6	97,5	172,89	270
800	1,57	119,32	258,64	-178,75	188,4	121,5	177,41	360
1200	1,6	121,6	263,2	-312,75	192	169,5	180,8	540

В соответствии с условием: $\Phi_3 - \Phi_1 = 20 \cdot 10^{-5} Bб$. Тогда, из 1-го закона

Кирхгофа получаем: $\Phi_2 = \Phi_1 + \Phi_3 = \Phi_1 + \Phi_1 + 20 \cdot 10^{-5} = 2 \cdot \Phi_1 + 20 \cdot 10^{-5} = \Phi_{11}$

Точка пересечения графиков 2) $\Phi_2(U_{\text{mdk}})$ и 4) $\Phi_{11}(U_{\text{mdk}})$ (точка А) будет определять рабочий режим заданной магнитной цепи.

По точке А определяем рабочее междузловое напряжение $U_{\text{mdk}} = 65 A$.

При известном значении междузлового магнитного напряжения по графикам определяем значения магнитных потоков:

По линии 1) $\Phi_1(U_{\text{mdk}})$ $\Phi_1 = 75 \cdot 10^{-5} Bб$

По линии 2) $\Phi_2(U_{\text{mdk}})$ $\Phi_2 = 170 \cdot 10^{-5} Bб$

Соответственно, $\Phi_3 = \Phi_1 + 20 \cdot 10^{-5} = (75 + 20) \cdot 10^{-5} = 95 \cdot 10^{-5} Bб$

По линии 3) $\Phi_3(U_{m3})$ определяем, что при значении магнитного потока $\Phi_3 = 95 \cdot 10^{-5} Bб$ значение магнитного напряжения $U_{m3} = 22 A$

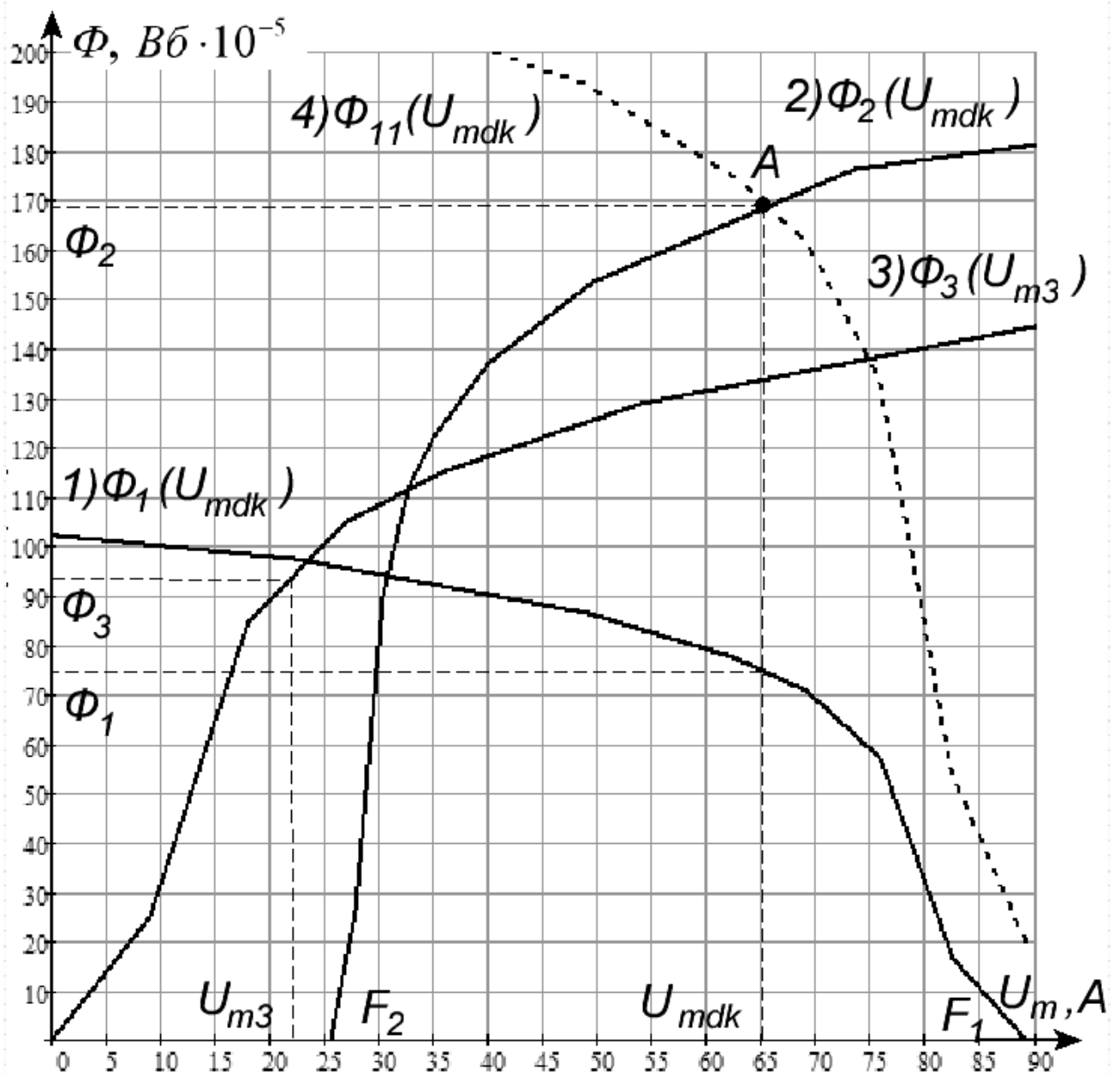


Рисунок 3. Графический расчет магнитной цепи методом двух узлов.

Из уравнения по 2-му закону Кирхгофа определяем:

$$U_{mdk} = F_3 - U_{m3}; F_3 = I_3 \cdot w_3 = U_{mdk} + U_{m3}$$

$$I_3 = \frac{U_{mdk} + U_{m3}}{w_3} = \frac{65 + 22}{975} = 0.089 \text{ A}$$

